

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
23. Juni 2005 (23.06.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/056358 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B60T 8/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/053080

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. November 2004 (24.11.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 58 335.1 12. Dezember 2003 (12.12.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FIEDLER, Jens**

[DE/DE]; Haidauer Strasse 5, 93107 Thalmassing (DE).
MAYER, Andreas [DE/DE]; Stolzenbergstr. 11, 93049
Regensburg (DE). **SCHWEIGER, Thomas** [DE/DE];
Kiefenholz 34, 93086 Wörth (DE). **STRATESTEFFEN,**
Martin [DE/DE]; Grünbeckstr. 10, 93049 Regensburg
(DE).

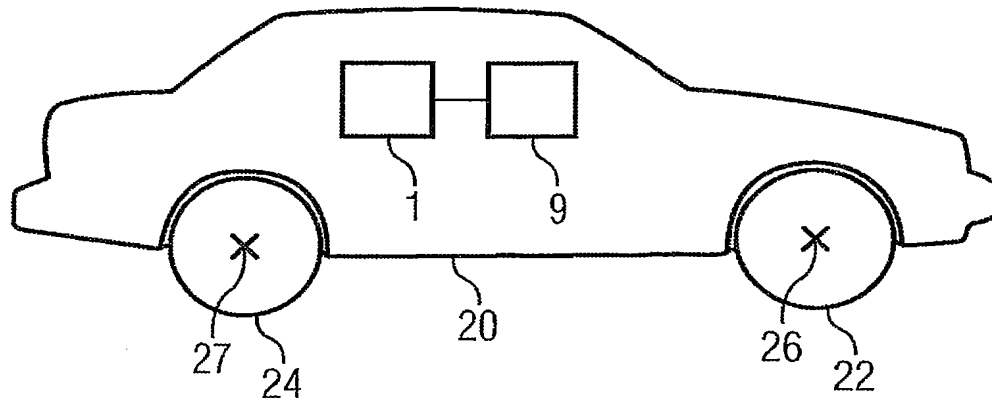
(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-**
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DETERMINATION OF DYNAMIC AXLE LOADS AND/OR WHEEL LOADS OF A WHEEL VEHICLE

(54) Bezeichnung: BESTIMMUNG VON DYNAMISCHEN ACHSFASTEN UND/ODER RADLASTEN EINES RADFAHR-
ZEUGES



(57) Abstract: The invention relates to determination of dynamic axle and/or wheel loads of a wheel vehicle (20), wherein for said wheel vehicle (20), at least two linear transversally oriented with respect to each other accelerations and three rotation rates of a rotation movement around the coordinate axis of the vehicle (20) or of the component of the coordinate axis are respectively measured by a measuring device (1), wherein said three coordinate axes extend transversally with respect to each other and at least one axle load and/or wheel load of the wheel vehicle (20) are determined by means of at least two linear accelerations and three rotation rates with the aid of evaluation device (9).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft die Bestimmung von dynamischen Achslasten und/oder dynamischen Radlasten eines Radfahrzeugs (20), wobei in dem Radfahrzeug (20) zumindest zwei jeweils quer zueinander gerichtete Linearbeschleunigungen des Radfahrzeugs (20) und drei Drehraten, jeweils einer Drehbewegung oder einer Komponente einer Drehbewegung um eine Koordinatenachse des Radfahrzeugs (20), gemessen werden (in Messeinrichtung 1), wobei die drei Koordinatenachsen jeweils quer zueinander verlaufen, und unter Verwendung der zumindest zwei Linearbeschleunigungen und der drei Drehraten zumindest eine Achslast und/oder eine Radlast des Radfahrzeugs (20) bestimmt wird (in Auswertungseinrichtung 9).



WO 2005/056358 A1



PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LU, MC, NL, PL,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Bestimmung von dynamischen Achslasten und/oder Radlasten eines Radfahrzeuges

5

Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zur Bestimmung von dynamischen Achslasten und/oder Radlasten eines Radfahrzeuges.

10

Achslasten und Radlasten, d. h. auf ein Fahrwerk oder Teile eines Fahrwerks wirkende Kräfte, sind Eingangsgrößen für elektronische Steuerungssysteme von Kraftfahrzeugen, z. B. für ein Antiblockiersystem (ABS) und für ein System zur aktiven Steuerung des Fahrwerks oder der Kopplung des Fahrwerks mit einem Fahrzeugaufbau (beispielsweise das so genannte elektronische Stabilitätsprogramm ESP). Weitere Beispiele sind ein Schutzsystem gegen ein Überschlagen des Fahrzeuges (roll-over-protection) und Systeme zur Stabilisierung von Wankbewegungen in Personen- und Nutzkraftfahrzeugen sowie in Anhängern.

15
20

Die Erfindung betrifft insbesondere eine Kombination der Anordnung mit zumindest einem derartigen System oder mit einer beliebigen Kombination derartiger Systeme.

25

Aus DE 196 03 430 A1 ist eine Schaltungsanordnung zum Ermitteln der Achslasten bei einem Kraftfahrzeug bekannt. In einer Auswerteschaltung werden Signale eines Gierratensensors empfangen, die eine Nickbewegung des Kraftfahrzeugs wiedergeben, und aus den Signalen die Achslasten und/oder Radaufstandskräfte des Kraftfahrzeuges berechnet. Insbesondere werden in einem Steuerrechner die Winkelgeschwindigkeit in Fahrzeuglängsrichtung bis zu dem Nickwinkel aufintegriert und die Winkelgeschwindigkeit in Fahrzeugquerrichtung bis zu dem Wankwinkel aufintegriert. Aus dem Nickwinkel, dem Wankwinkel, der Geländesteigung, dem linken und dem rechten Radstand, der

30

35

vorderen und der hinteren Spur sowie der Fahrzeuggeschwindigkeit kann die Achslastverteilung berechnet werden.

5 Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Anordnung und ein Verfahren anzugeben, die eine Bestimmung von dynamischen Achslasten und/oder Radlasten eines Radfahrzeuges in einer Vielzahl realer Fahrsituationen erlauben. Insbesondere soll eine Bestimmung der Achslasten und/oder Radlasten gerade in sicherheitskritischen Situationen wie Kurvenfahrten, bei geneigter Fahrbahn und/oder bei wankendem Fahrzeug-
10 aufbau möglich sein.

Es wird vorgeschlagen, für die Bestimmung von dynamischen Achslasten und/oder Radlasten eines Radfahrzeuges zumindest
15 zwei (vorzugsweise drei) jeweils quer zueinander gerichtete Linearbeschleunigungen des Radfahrzeuges und drei Drehraten des Radfahrzeuges, zu messen. Die drei Drehraten sind jeweils ein Maß einer Drehbewegung oder Drehbewegungskomponente um eine Koordinatenachse des Radfahrzeuges, wobei die zwei oder
20 drei Koordinatenachsen jeweils quer zueinander verlaufen und insbesondere ein kartesisches Koordinatensystem bilden.

Weiterhin wird folgendes vorgeschlagen: Eine Anordnung mit
- einer in dem Radfahrzeug angeordneten oder anordenbaren
25 Messeinrichtung, wobei die Messeinrichtung ausgestaltet ist, zumindest zwei jeweils quer zueinander gerichtete Linearbeschleunigungen des Radfahrzeuges und drei Drehraten, jeweils einer Drehbewegung oder einer Komponente einer Drehbewegung um eine Koordinatenachse des Radfahrzeuges, zu messen, wobei die drei Koordinatenachsen jeweils quer zueinander verlaufen, und
30 - einer Auswertungseinrichtung, die mit der Messeinrichtung kombiniert ist und ausgestaltet ist, unter Verwendung der zumindest zwei Linearbeschleunigungen und der drei Drehraten zumindest eine Achslast und/oder eine
35 Radlast zu bestimmen.

Unter dem Begriff "Achse" wird nicht nur eine starre und/oder als einzelnes gegenständlich vorliegendes Bauteil ausgeführte Achse verstanden. Vielmehr können die Räder einer Achse beispielsweise lediglich über einen Fahrzeugaufbau sowie über zwischen dem Fahrzeugaufbau und dem jeweiligen Rad angeordneten Stoßdämpfungseinrichtungen und/oder Federungseinrichtungen miteinander verbunden sein. Weiterhin ist es auch möglich, dass zumindest eine der Achsen lediglich ein Rad aufweist.

Unter einer Achslast wird eine Last verstanden, die insgesamt auf die Räder einer Achse (z. B. von einem Fahrzeugaufbau auf die Vorderräder eines vierrädrigen Fahrzeuges) wirkt oder (z. B. an den Rad-Aufstandspunkten) von den Rädern der Achse auf den Untergrund ausgeübt wird. Unter einer Radlast wird eine Last verstanden, die auf ein einzelnes Rad des Fahrzeuges (z. B. von einem Fahrzeugaufbau auf das rechte Vorderrad eines vierrädrigen Fahrzeuges) oder auf eine Mehrzahl von Rädern des Fahrzeuges (z. B. auf die beiden rechten Räder eines vierrädrigen Fahrzeuges) wirkt oder von dem Rad bzw. den Rädern auf den Untergrund ausgeübt wird.

Vorzugsweise weist die Messeinrichtung Beschleunigungssensoren zur Messung der zwei (oder drei) Linearbeschleunigungen und Drehratensensoren zur Messung der drei Drehraten auf, wobei die Beschleunigungssensoren und die Drehratensensoren Teile einer vorgefertigten, zum Einbau in das Radfahrzeug ausgestalteten gerätetechnischen Einheit sind. Es handelt sich bei dieser Einheit um eine spezielle Ausführungsform einer sogenannten Inertial Measurement Unit (IMU). Die IMU ist beispielsweise dazu bestimmt, an oder in der Nähe des Schwerpunktes eines Radfahrzeuges befestigt zu werden. Vorzugsweise liegt dann der Schwerpunkt des Radfahrzeuges oder eines Fahrzeugaufbaus des Radfahrzeuges innerhalb der Einheit.

Weiterhin wird bevorzugt, dass die zwei (oder drei) Linearbeschleunigungen von der Messeinrichtung als linear voneinander unabhängige Messgrößen messbar sind. Vorzugsweise bilden die Richtungen der jeweils von den Beschleunigungssensoren erfassten Beschleunigungen bzw. Beschleunigungskomponenten die Achsen eines dreidimensionalen rechtwinkligen Koordinatensystems.

Entsprechendes wird für die Ausrichtung der drei Koordinatenachsen bevorzugt, bezüglich denen die Komponenten des Drehvektors einer Drehbewegung des Fahrzeuges gemessen werden. Mit anderen Worten: Die Messeinrichtung ist derart ausgestaltet, dass die drei Koordinatenachsen jeweils paarweise senkrecht zueinander verlaufen.

Die Messeinrichtung kann z. B. für jede Messgröße einen separaten Sensor aufweisen. Es gibt jedoch auch Sensoren, die gleichzeitig zwei der genannten Messgrößen messen (z. B. zwei Beschleunigungen oder zwei Drehraten).

Vorzugsweise sind die Messsensoren der Messeinrichtung zur Messung der Drehraten und zur Messung der Linearbeschleunigungen an einem relativ zu einem Fahrzeug-Fahrwerk beweglichen Fahrzeugaufbau befestigt.

Beschleunigungssensoren messen abhängig von der Orientierung des Fahrzeuges eine durch die Erdanziehungskraft beeinflusste Messgröße. Im Stillstand des Fahrzeuges misst der Beschleunigungssensor lediglich die Auswirkungen der Erdanziehungskraft. Die wirkliche Beschleunigung kommt dann in der gemessenen Größe nicht vor.

In dieser Beschreibung wird die durch die Erdanziehungskraft veränderte dynamische Beschleunigungsgröße als effektive Beschleunigungsgröße bezeichnet. Vorzugsweise werden bei der Bestimmung der dynamischen Achslasten und/oder Radlasten die effektiven Beschleunigungswerte verwendet. Man erhält dann

dynamische Lasten, die die statische Last (den Anteil der Erdanziehung bzw. Schwerkraft) enthalten. Bei Bedarf kann jedoch auch die rein dynamische Last ermittelt werden, z. B. durch Integration der drei Drehraten zur Bestimmung der Orientierung des Fahrzeuges relativ zu einem erdfesten Koordinatensystem und durch Eliminierung des statischen Anteils unter Verwendung von Informationen über die Orientierung.

Insbesondere hierfür kann die Anordnung eine Orientierungs-Bestimmungseinrichtung aufweisen, die ausgestaltet ist, aus den drei Drehraten eine Orientierung des Radfahrzeuges in einem fahrzeugexternen Koordinatensystem zu bestimmen. Um die von der Messeinrichtung gemessenen Größen auf etwaige Fehler überwachen zu können, wird ferner eine Überwachungseinrichtung vorgeschlagen, die ausgestaltet ist, unter Verwendung einer Ausgangsgröße der Orientierungs-Bestimmungseinrichtung und unter Verwendung einer Vergleichsgröße eine Überwachung zumindest einer der gemessenen Linearbeschleunigungen durchzuführen. Zur Bestimmung der Vergleichsgröße werden insbesondere weitere, nicht von der Messeinrichtung gemessene Größen verwendet, beispielsweise ein Lenkwinkel zumindest eines lenkbaren Rades des Fahrzeuges und/oder eine Fahrgeschwindigkeit. Wird bei der Überwachung festgestellt, dass ein Messwert der Messeinrichtung z. B. aufgrund eines Sensorfehlers nicht zuverlässig ist, kann eine geeignete Maßnahme ergriffen werden.

Durch die Berücksichtigung der drei Drehraten und der zumindest zwei Beschleunigungen des Fahrzeuges kann selbst in sicherheitskritischen Fahrsituationen, insbesondere wenn hohe Beschleunigungen und/oder schnelle Drehbewegungen des Fahrzeuges auftreten, zuverlässig eine Achslast und/oder zumindest eine Radlast berechnet werden. Beispiele für Fahrsituationen, in denen vorbekannte Verfahren zur Berechnung der Last nicht oder nur eingeschränkt anwendbar sind, betreffen Kurvenfahrten, Fahrten auf seitlich geneigtem Untergrund

und/oder Fahrten bei seitlichen Drehbewegungen eines Fahrzeugaufbaus (bei wankendem Fahrzeugaufbau).

In einem Rechenmodell zur Berechnung der Last, das in der Auswertungseinrichtung implementiert ist, kann auf Grund der Drehraten und Beschleunigungen beispielsweise ein Term oder können mehrere Terme berücksichtigt werden, über den/die bisher keine gemessenen Informationen zur Verfügung standen.

Hierzu gehören:

- 10 - Terme, die Lasten auf Grund von einer Bewegung des Fahrzeuges und/oder eines Fahrzeugaufbaus quer zu der Ebene des Untergrundes berücksichtigen,
- Terme, die eine Relativbewegung zwischen einem Fahrzeugaufbau und einem Fahrwerk des Fahrzeuges berücksichtigen, und/oder
- 15 - Terme, die ein Trägheitsmoment des Fahrzeuges und/oder eines Fahrzeugteils (insbesondere eines Fahrzeugaufbaus) bei einer Drehbewegung berücksichtigen.

- 20 Weiterhin können Terme in dem Rechenmodell berücksichtigt werden, die ein (insbesondere gedämpftes) elastisches Bewegungsverhalten eines Fahrzeugaufbaus relativ zu einem Fahrwerk berücksichtigen. Hierauf wird noch näher eingegangen.

- 25 Insbesondere kann die Auswertungseinrichtung eine Berechnungseinheit aufweisen, die ausgestaltet ist,
 - unter Verwendung eines von der Messeinrichtung gemessenen Messwertes für eine quer zu der Ebene eines Fahrzeug-Untergrundes gerichtete Linearbeschleunigung zumindest eine Teil-Achslast und/oder eine Teil-Radlast zu
 - 30 berechnen;
 - unter Verwendung der drei Drehraten zumindest eine Teil-Achslast und/oder eine Teil-Radlast zu berechnen, die durch eine Drehbewegung des Radfahrzeuges und/oder durch
 - 35 eine Drehbewegung eines Teils des Radfahrzeuges erzeugt wird; und/oder

- unter Berücksichtigung einer, insbesondere gedämpften, Federung zwischen zumindest einem der Räder des Radfahrzeuges und einem Fahrzeugaufbau die Achslast und/oder Radlast.

5 zu berechnen

Die Berechnungseinheit weist z. B. einen Mikroprozessor auf.

Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt es weiterhin, eine zuverlässige Vorhersage einer Fahrsituation zu machen, wobei
10 unter Verwendung zumindest von zwei berechneten Achslasten und/oder Radlasten vorausberechnet wird, ob ein Rad des Radfahrzeuges oder mehrere Räder des Radfahrzeuges einen Kontakt mit einem Untergrund verlieren werden. Beispielsweise werden Lasten für verschiedene Räder des Fahrzeuges als Funktionen
15 der Zeit betrachtet und werden diese Funktionen wiederholt extrapoliert, sodass zumindest jeweils ein zukünftiger Wert der Lasten erhalten wird. Durch Vergleich und/oder unter Verwendung der extrapolierten Lasten kann dann für den zukünftigen Zeitpunkt ermittelt werden, ob der Kontakt mit dem Unter-
20 grund verloren gehen wird. Beispielsweise kann in einem solchen Fall ein System zur aktiven Steuerung des Fahrwerks oder der Kopplung des Fahrwerks mit einem Fahrzeugaufbau eine geeignete Maßnahme ergreifen, um die gefährliche Situation zu vermeiden. Z. B. ist es möglich, einzelne oder mehrere Räder
25 des Fahrzeuges zu bremsen.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Dabei wird Bezug auf die beigefügte schematische Zeichnung genommen und eine bevorzugte Ausführungsform be-
30 schrieben. Gleiche Bezugszeichen in der Zeichnung bezeichnen gleiche, funktionsgleiche oder äquivalente Einheiten oder Einrichtungen. Die einzelnen Figuren der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 ein Straßenkraftfahrzeug mit einer Anordnung zur
35 Bestimmung dynamischer Achslasten und Radlasten,

- Fig. 2 eine Ausgestaltung der in Fig. 1 dargestellten Auswertungseinrichtung in Kombination mit einer Messeinrichtung,
- Fig. 3 die in Fig. 1 dargestellte Messeinrichtung in einem gemeinsamen Gehäuse mit der Auswertungseinrichtung,
- Fig. 4 ein Modell eines Straßenkraftfahrzeuges mit einem Fahrwerk und mit einem über eine gedämpfte Federung mit dem Fahrwerk verbundenen Fahrzeugaufbau in Seitenansicht,
- Fig. 5 das Modell gemäß Fig. 4 von vorne,
- Fig. 6 eine Darstellung eines Straßenkraftfahrzeuges zur Erläuterung von Abmessungen und Winkeln und
- Fig. 7 ein Beispiel für eine Ausgestaltung der in Fig. 1 dargestellten Messeinrichtung.

Das in Fig. 1 dargestellte Straßenkraftfahrzeug 20 weist zwei Vorderräder und zwei Hinterräder auf, von denen das rechte Vorderrad mit dem Bezugszeichen 22 bezeichnet ist und von denen das rechte Hinterrad mit dem Bezugszeichen 24 bezeichnet ist. Die Vorderräder sind einer Vorderachse 26 zugeordnet. Die Hinterräder sind einer Hinterachse 27 zugeordnet. Die einer Achse zugeordneten Räder drehen sich bei Geradeausfahrt des Straßenkraftfahrzeuges 20 koaxial, d. h. sie weisen eine gemeinsame Drehachse auf.

In dem Straßenkraftfahrzeug 20 ist eine Messeinrichtung 1 angeordnet, die mit einer Auswertungseinrichtung 9 zur Bestimmung von Achslasten und Radlasten des Straßenfahrzeuges 20 verbunden ist.

Wie in Fig. 7 dargestellt ist, weist die Messeinrichtung 1 beispielsweise eine Beschleunigungs-Messeinrichtung 3 und eine Drehraten-Messeinrichtung 4 auf. Die Messeinrichtung 1 ist insbesondere eine vorgefertigte bauliche Einheit, wobei die entsprechenden Messsensoren zur Messung der Beschleunigungen und Drehraten relativ zueinander positionsfest in der Einheit angeordnet sind. Die bautechnische Einheit ist insbesondere

dazu bestimmt, an oder in der Nähe des Schwerpunktes eines Kraftfahrzeuges befestigt zu werden, wobei eine bestimmte Ausrichtung in dem Kraftfahrzeug angestrebt wird.

5 Insbesondere weist die Beschleunigungs-Messeinrichtung 3 drei Linear-Beschleunigungssensoren 31, 32, 33 auf (Fig. 7), die derart angeordnet sind, dass jeweils einer der Beschleunigungssensoren eine Beschleunigung oder Beschleunigungskomponente des Fahrzeuges in Richtung der Achsen eines kartesischen Koordinatensystems misst, wobei die x-Achse nach vorne in Längsrichtung des Fahrzeuges weist, die y-Achse quer zur Längsachse gerichtet ist und die z-Achse (bei horizontal ausgerichtetem Fahrzeug) senkrecht nach oben weist. Ein derartiges Koordinatensystem ist schematisch in Fig. 6 dargestellt.

10 Diese Figur zeigt ein Straßenkraftfahrzeug 20 mit zwei lenkbaren Vorderrädern 21, 22 und zwei nicht lenkbaren Hinterrädern 23, 24. Die Vorderräder sind in dem dargestellten Zustand nach links eingeschlagen und weisen gegen die x-Achse einen Lenkwinkel von δ_L (linkes Vorderrad 21) bzw. δ_R (rechtes Vorderrad 22) auf. Die Vorderräder 21, 22 haben einen Abstand (Radstand) s_F , die Hinterräder 23, 24 einen Abstand s_R voneinander. r_R bezeichnet den Radius der Hinterräder 23, 24. In Längsrichtung etwa in der Mitte eines Fahrzeugaufbaus 25 ist die Messeinrichtung 1 angeordnet. Sie hat in Längsrichtung einen Abstand l_F von der Achse der Vorderräder 21, 22 und einen Abstand l_R von der Achse der Hinterräder 23, 24.

Die Erfindung ist nicht auf Radfahrzeuge mit Vorderradlenkung beschränkt. Vielmehr können z. B. zusätzlich auch die Hinterräder lenkbar sein.

Ein Ausführungsbeispiel für die in Fig. 1 dargestellte Anordnung ist in Fig. 2 dargestellt. Die Beschleunigungs-Messeinrichtung 3 ist über eine Filtereinrichtung 5 mit der Auswertungseinrichtung 9 verbunden. Die Drehraten-Messeinrichtung 4 ist über die Filtereinrichtung 5 ebenfalls mit der Auswertungseinrichtung 9 verbunden.

Die in Fig. 2 dargestellte Filtereinrichtung 5 steht stellvertretend für weitere Filtereinrichtungen, die zusätzlich bei den in Fig. 1 bis Fig. 3 dargestellten Anordnungen oder bei abgewandelten Anordnungen vorgesehen sein können. Die von den Filtereinrichtungen durchgeführte Filterung von Messsignalen und/oder daraus abgeleiteten Signalen dient insbesondere der Eliminierung von etwaig vorhandenem Rauschen und der Eliminierung von hochfrequenten Schwankungen der Messsignale, beispielsweise auf Grund von Vibrationen des Fahrzeugaufbaus. Die Filtereinrichtungen können insbesondere zumindest ein Tiefpassfilter und/oder zumindest ein Bandpassfilter aufweisen.

Die Filtereinrichtung 5 filtert die von den Beschleunigungsmesssensoren der Beschleunigungs-Messeinrichtung 3 gemessenen Beschleunigungssignale und die von den Drehraten-Messsensoren der Drehraten-Messeinrichtung 4 gemessenen Drehratensignale, bevor diese zu der Auswertungseinrichtung 9 übertragen werden.

Wie Fig. 3 zeigt können die Messeinrichtung 1 und die Auswertungseinrichtung 9 zusammen mit weiteren Einheiten und/oder Einrichtungen in einem gemeinsamen Gehäuse 2 angeordnet sein. Wie in der Figur dargestellt ist, kann die Auswertungseinrichtung 9 eine Berechnungseinheit 11 und eine Überwachungseinrichtung 10 aufweisen. Die Berechnungseinheit 11 dient der Berechnung von Achslasten und/oder Radlasten des Fahrzeuges. Die Überwachungseinrichtung 10 dient der Überwachung der von der Messeinrichtung 1 erzeugten Messsignale.

Unter Verwendung von Messsignalen eines Lenkwinkels und einer Fahrzeuggeschwindigkeit, die über einen Eingang 6 empfangen werden, führt die Überwachungseinrichtung 10 eine Überwachung von zumindest einer der von der Messeinrichtung 1 gemessenen Größen durch. Beispielsweise verwendet die Überwachungseinrichtung 10 für die Überwachung der Linearbeschleunigungen

zumindest zwei Winkel (die durch Integration der Drehraten erhaltenen Wankwinkel und Nickwinkel des Fahrzeuges), die ein Maß für die Orientierung des Fahrzeuges in einem erdfesten Koordinatensystem sind. Auf diese Weise kann sie berücksichtigen, dass die gemessenen Linearbeschleunigungen abhängig von der Orientierung des Fahrzeuges relativ zu dem erdfesten Koordinatensystem eine Komponente enthalten, die auf die Erdanziehung zurückzuführen ist.

Wie ebenfalls in Fig. 3 dargestellt ist, kann die Berechnungseinheit 11 mit einer Extrapolationseinheit 12 verbunden sein, um (wie bereits erläutert) eine Voraussage über eine in der Zukunft liegende Fahrsituation zu machen, in der zumindest eines der Räder des Fahrzeuges den Kontakt mit dem Untergrund nicht mehr oder nicht mehr in ausreichender Weise hält. Über eine Schnittstelle 13, mit der die Extrapolationseinheit 12 verbunden ist, können entsprechende Informationen über eine solche Fahrsituation an ein System ausgegeben werden, das geeignete Maßnahmen zur Verhinderung der gefährlichen Fahrsituation einleitet (z. B. Roll-Over-Protection).

Im Folgenden wird nun auf die Berechnung der Achslasten und/oder Radlasten näher eingegangen, die beispielsweise von der Berechnungseinheit 11 durchgeführt wird bzw. durchgeführt werden.

Bei einer ersten Berechnungsart sollen jeweils die Summen von mehreren Radlasten berechnet werden, wobei in jedem Fall entweder alle Räder einer Achse oder alle Räder einer Seite des Fahrzeuges einbezogen sind. Beispielsweise kann auf diese Weise bei einem vierrädrigen Radfahrzeug die Vorderachslast, die Hinterachslast, die Summe der Radlasten der rechten Räder und/oder die Summe der Radlasten der linken Räder berechnet werden. Für jede dieser Berechnungen werden jeweils nur zwei der von der Messeinrichtung gemessenen Beschleunigungsgrößen benötigt. Zu diesen beiden Beschleunigungsgrößen gehört in jedem Fall die Linearbeschleunigung in z-Richtung (Fig. 6).

Welche Größe die zweite Bescheinigungsgröße ist, hängt von der zu berechnenden Summe ab. Im Fall der Berechnung einer Achslast (Summe der Räder einer Achse) wird als zweite Linearbeschleunigungsgröße die Beschleunigung in x-Richtung verwendet. Im Fall der Summe der Radlasten einer Seite des Fahrzeuges wird als zweite Beschleunigungsgröße die Beschleunigung in y-Richtung verwendet.

Außerdem wird für jede dieser Summen von Radlasten ein die Trägheit des Fahrzeuges bei einer Drehbewegung beschreibender Term berücksichtigt. Für diesen Term werden vorzugsweise alle drei von der Messeinrichtung gemessenen Drehraten verwendet.

Im Folgenden werden Beispiele für die Berechnung derartiger Summen von Radlasten auf der Basis von physikalischen Fahrzeugmodellen näher erläutert.

Bei einem ersten Modell wird das Fahrzeug als starrer Körper betrachtet, d. h. es werden keine Terme berücksichtigt, die eine (insbesondere gedämpfte) Federung zwischen den Rädern und einem Fahrzeugaufbau abbilden.

Die dynamische Vorderachslast F_F wird definiert als die Summe der Aufstandskräfte der Vorderräder und die dynamische Hinterachslast F_R als die Summe der Aufstandskräfte der Hinterräder. Die Kräfte können insbesondere nach folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$F_F = (l_R m_V a_{CG,z}^{(e)} - h_{CG} m_V a_{CG,x}^{(e)} - J_{CG,y}) / (l_R + l_F)$$

$$F_R = (l_F m_V a_{CG,z}^{(e)} + h_{CG} m_V a_{CG,x}^{(e)} + J_{CG,y}) / (l_R + l_F)$$

Dabei sind $a_{CG,j}^{(e)}, j = x, y, z$ die von der Messeinrichtung ermittelten und insbesondere durch Filterung und/oder weitere Maßnahmen aufbereiteten Messsignale für die Linearbeschleunigung unter der Annahme, dass die Messeinrichtung am Schwerpunkt

des Fahrzeuges angeordnet ist. Ist dies nicht der Fall, so werden die Messwerte auf den Schwerpunkt umgerechnet. Weiterhin sind l_R bzw. l_F die bereits anhand von Fig. 6 eingeführten Abstände zwischen der Messeinrichtung und der Hinterachse bzw. der Vorderachse, m_V die Masse des Fahrzeuges, h_{CG} die Höhe des Schwerpunktes über dem Untergrund des Fahrzeuges und $J_{CG,x}, J_{CG,y}$ die x-Komponente bzw. die y-Komponente des Vektors

$$\vec{J}_{CG} = \vec{J}_{CG} \dot{\vec{\omega}} + \vec{\omega} \times (\vec{J}_{CG} \vec{\omega})$$

10

Dabei ist \vec{J}_{CG} der Trägheitstensor des Fahrzeuges bezüglich des Schwerpunktes, wobei die Koordinatenachsen in Richtung der Messrichtungen der Sensoren orientiert sind. $\vec{\omega}$ ist der Drehvektor des Fahrzeuges. Unter der Annahme, dass der Drehvektor in guter Näherung diagonal ist, erhält man für die beiden ersten Komponenten des Vektors \vec{J}_{CG} :

15

$$J_{CG,x} = I_{CG,1} \dot{\omega}_x + (I_{CG,3} - I_{CG,2}) \omega_y \omega_z$$

20

$$J_{CG,y} = I_{CG,2} \dot{\omega}_y + (I_{CG,1} - I_{CG,3}) \omega_x \omega_z$$

mit den Haupt-Trägheitsmomenten des Fahrzeuges $I_{CG,1}, I_{CG,2}, I_{CG,3}$ (Diagonalelemente der 3 x 3 Trägheitsmoment-Matrix) und den Komponenten des Drehvektors $\omega_x, \omega_y, \omega_z$.

25

In entsprechender Weise erhält man eine Gleichung für die Summe der Radlasten $F_{FL} + F_{RL}$ (der erste Index F steht für "Front" bzw. "vorne", der erste Index R steht für "Rear" bzw. "hinten", der zweite Index L steht für "links") der linken Räder:

30

$$F_{FL} + F_{RL} = \frac{1}{2} m_V a_{CG,z}^{(e)} - \frac{h_{CG}}{s_F} h_{CG} m_V a_{CG,y}^{(e)} + (J_{CG,x} / s_F)$$

Dabei ist S_F der Radstand, der für die Vorderräder und für die Hinterräder als gleich groß angenommen ist. Die entsprechende Gleichung für die rechten Räder erhält man, wenn man auf der rechten Seite dieser Gleichung das Vorzeichen des zweiten Summanden umkehrt. Dies berücksichtigt, dass sich eine Beschleunigung in y-Richtung (also quer zur Fahrtrichtung) für die Aufstandskräfte der rechten Räder und der linken Räder umgekehrt auswirkt.

- 10 Im Hinblick auf eine Verhinderung eines Fahrzeug-Überschlages (roll-over-protection) kann z. B. die Summe der Radlasten der linken Räder und/oder die Summe der Radlasten der rechten Räder verwendet werden und die bereits beschriebene Extrapolation durchgeführt werden. Insbesondere kann z. B. die Summe
15 der Radlasten der rechten Räder mit der Summe der Radlasten der rechten Räder verglichen werden. Da die entsprechenden Gleichungen teilweise identische Terme enthalten kann es für bestimmte Anwendungen und/oder in bestimmten Fahrsituationen ausreichen, die Terme mit umgekehrtem Vorzeichen auszuwerten.
20 Der Vergleich kann in diesen Fällen daher auf eine Berechnung des Terms bzw. der Terme reduziert werden, dessen bzw. deren Vorzeichen bei den rechten Rädern und bei den linken Rädern umgekehrt ist. Bei dem Vergleich kann insbesondere überprüft werden, ob ein vorgegebener Grenzwert erreicht oder überschritten ist. Ist dies der Fall, wird beispielsweise ein
25 Signal an ein System zur Stabilisierung des Fahrzeug-Fahrbetriebes ausgegeben.

- Grundzüge des zuvor beschriebenen Modells sind die Annahme
30 eines starren Fahrzeuges und die Erstellung einer Drehimpuls-Bilanz (oder einer äquivalenten Bilanz) der jeweils betrachteten Räder (z. B. Vorderräder, Hinterräder oder linke Räder). Mit einem derartigen Modell lassen sich jedoch nicht die Radlasten einzelner Räder bestimmen.

- 35 Insbesondere wenn nicht zu vernachlässigende Bewegungen zwischen Aufbau und Fahrwerk auftreten, können dennoch mit Mess-

werten der im Aufbau angeordneten Messeinrichtung (insbesondere mit einer IMU) Achslasten und/oder Radlasten bestimmt werden. Dazu wird vorgeschlagen, ein Fahrzeugmodell zu verwenden, das Elastizitäten zwischen dem Aufbau und dem Fahrwerk berücksichtigt.

Zur Bestimmung einzelner Radlasten eines vierrädrigen Fahrzeuges wird folgender Ansatz gemäß einem zweiten Modell vorgeschlagen: es werden Elastizitäten der Federung zwischen den Rädern (d. h. einem Fahrwerk) und einem starren Fahrzeugaufbau eingeführt. Weiterhin werden drei Freiheitsgrade der Relativbewegung zwischen dem Fahrwerk und dem Fahrzeugaufbau zugelassen, nämlich eine lineare Bewegung in z-Richtung (z. B. die Bewegung eines Punktes im Fahrzeugaufbau, an dem die Messeinrichtung misst), eine erste Drehbewegung um eine waagerecht in dem Fahrzeug verlaufende erste Drehachse (insbesondere die x-Achse) und eine zweite Drehbewegung um eine waagerecht in dem Fahrzeug verlaufende zweite Drehachse (insbesondere die y-Achse), die quer zu der ersten Drehachse verläuft.

Fig. 4 und Fig. 5 stellen das Modell schematisch dar. Ein Fahrzeugaufbau 28 hat einen Schwerpunkt CG und ist über Federn 40, 41, 43 (gezeigt sind in den beiden Figuren nur drei der vier Räder) und über parallel zu den Federn 40, 41, 43 wirkende Dämpfungsglieder 44, 45, 47 einzeln mit den vier Rädern 21, 22, 23, 24 verbunden. Da die Räder 21, 22, 23, 24 nicht unmittelbar mechanisch miteinander gekoppelt sind, kann man auch von einem Fünf-Massen-Modell sprechen. Die Räder 21, 22, 23, 24 stehen auf dem Untergrund 30 (z. B. einer Fahrbahn) auf.

Durch Bilden entsprechender Drehimpuls-Bilanzen (oder äquivalenter Bilanzen, z. B. Drehmoment-Bilanzen) für das Fahrwerk wie oben für das starre Fahrzeug erläutert (d. h. zwei Gleichungen für jeweils zwei Räder, z. B. die Vorderräder und die

Hinterräder) und durch Berücksichtigung der folgenden Differentialgleichungen

$$\begin{aligned}\kappa_R \Delta \varphi + \gamma_R \Delta \dot{\varphi} &= c_R a_y^{(e)} - \dot{\omega}_x \\ \kappa_P \Delta \vartheta + \gamma_P \Delta \dot{\vartheta} &= -c_P a_x^{(e)} - \dot{\omega}_y \\ k \Delta z + \Gamma \Delta \dot{z} &= -a_z^{(e)}\end{aligned}$$

5

können die einzelnen Radlasten berechnet werden. Dabei sind κ_R , κ_P , k Parameter des Fahrzeuges, die einer linearen Federkraft der jeweiligen Bewegungskomponente des Freiheitsgrades entsprechen, γ_R , γ_P , Γ Parameter des Fahrzeuges, die einem linearen Dämpfungsterm der jeweiligen Bewegungskomponente entsprechen, c_R , c_P weitere Parameter des Fahrzeuges, $\Delta \varphi$ der relative Drehwinkel zwischen Fahrzeugaufbau und Fahrwerk um die x-Achse (Wankwinkel), $\Delta \vartheta$ der relative Drehwinkel zwischen Fahrzeugaufbau und Fahrwerk um die y-Achse (Nickwinkel) und $a_j^{(e)}$, $j = x, y, z$ die von der im Fahrzeugaufbau angeordneten Messeinrichtung gemessenen Linearbeschleunigungen in x-, y- und z-Richtung.

20

Sämtliche Parameter können beispielsweise experimentell und/oder rechnerisch für ein bestimmtes Fahrzeug oder einen bestimmten Fahrzeugtyp bestimmt werden.

25

Dieses Modell setzt den Fahrzeugaufbau als in sich starrer Körper voraus und ist damit in guter Näherung für die Fahrt von Kraftfahrzeugen auf Straßen geeignet. Dieses Modell berücksichtigt wie beschrieben Wank- und Nickbewegungen und ist daher insbesondere für Fahrsituationen und/oder Fahrzeuge geeignet, bei denen solche Bewegungen auftreten. Dies ist vor allem bei Fahrzeugen mit hoch über dem Fahrwerk gelegenen Schwerpunkt des Fahrzeugaufbaus der Fall, z. B. bei Lastkraftwagen und geländetauglichen Fahrzeugen.

30

Bei dem oben angegebenen Satz von drei Differentialgleichungen können insbesondere die folgenden Änderungen vorgenommen werden oder Alternativen realisiert werden:

- 5 - die Federn können als nichtlineare Federn beschrieben werden,
- in einer oder mehreren der Gleichungen, insbesondere in der Gleichung für den Nickwinkel $\Delta\theta$, kann eine Verteilung einer Bremskraft oder von Bremskräften und/oder einer Antriebskraft oder von Antriebskräften (z. B. bei Allrad-angetriebenen Fahrzeugen) über die Räder zusätzlich berücksichtigt werden und/oder
- 10 - die Gleichungen können zumindest teilweise gekoppelt sein.
- 15 Zur Vereinfachung der Berechnung können vereinfachende Annahmen getroffen werden, wie z. B.
 - die Vernachlässigung der Masse des Fahrwerks gegenüber der Masse des Fahrzeugaufbaus,
 - die Annahme, dass der Messpunkt, an dem die Messeinrichtung die Drehraten und Linearbeschleunigungen misst und/oder durch den die drei Drehachsen verlaufen, der Schwerpunkt des Fahrzeugaufbaus ist und/oder
 - 20 - die Annahme, dass die Höhendifferenz (in z-Richtung) des Messpunktes zu den vier Angriffspunkten, an denen Federkräfte von zwischen den Rädern und dem Fahrzeugaufbau wirkenden Federungen an dem Fahrzeugaufbau angreifen, für alle vier Räder gleich groß ist.
- 25

30 In dem betrachteten Modell kann eine mathematische Grenzwertbildung durchgeführt werden, wobei man die Federkräfte unendlich groß werden lässt (Grenzfall starrer Federn). Dem entspricht in den oben angegebenen Differentialgleichungen der Fall $k_R, k_P, k \rightarrow \infty$. Man erhält die folgenden Berechnungsgleichungen für die einzelnen Radlasten:

35

$$F_{FL/R,z} = \frac{l_R}{2(l_F + l_R)} m_V a_{CG,z}^{(e)} - \frac{1}{2(l_F + l_R)} (h_{CG} m_V a_{CG,x}^{(e)} + J_{CG,y})$$

$$\mp \frac{l_R}{s_F(l_F + l_R)} (h_{CG} m_V a_{CG,y}^{(e)} - J_{CG,x})$$

$$F_{RL/R,z} = \frac{l_F}{2(l_F + l_R)} m_V a_{CG,z}^{(e)} + \frac{1}{2(l_F + l_R)} (h_{CG} m_V a_{CG,x}^{(e)} + J_{CG,y})$$

$$\mp \frac{l_F}{s_F(l_F + l_R)} (h_{CG} m_V a_{CG,y}^{(e)} - J_{CG,x})$$

wobei sich das Minuszeichen in dem Operator \mp der Gleichungen jeweils auf das linke Rad und das Pluszeichen sich jeweils auf das rechte Rad bezieht.

10

Dieses vereinfachte Modell ist insbesondere für Fahrzeuge mit niedrig gelegenem Schwerpunkt des Fahrzeugaufbaus, für das Fahren auf ebenem Untergrund (im Gegensatz zu Schlechtwegstrecken) und das Fahren bei hoher Geschwindigkeit geeignet.

15

Beispielsweise kann bei einer konkreten Ausführungsform festgestellt werden, ob eine dieser Bedingungen vorliegt. Ist dies der Fall, greift die Berechnungseinheit auf das vereinfachte Modell zurück. Andernfalls wird das zu Grunde liegende Modell mit Berücksichtigung der Federung angewendet.

20

Patentansprüche

1. Anordnung zur Bestimmung von dynamischen Achslasten
5 und/oder dynamischen Radlasten eines Radfahrzeuges (20), mit
- einer in dem Radfahrzeug (20) angeordneten oder anorden-
baren Messeinrichtung (1), wobei die Messeinrichtung (1) aus-
gestaltet ist, zumindest zwei jeweils quer zueinander gerich-
tete Linearbeschleunigungen des Radfahrzeuges (20) und drei
10 Drehraten, jeweils einer Drehbewegung oder einer Komponente
einer Drehbewegung um eine Koordinatenachse des Radfahrzeuges
(20), zu messen, wobei die drei Koordinatenachsen jeweils
quer zueinander verlaufen, und
- einer Auswertungseinrichtung (9), die mit der Messein-
15 richtung (1) kombiniert ist und ausgestaltet ist, unter Ver-
wendung der zumindest zwei Linearbeschleunigungen und der
drei Drehraten zumindest eine Achslast und/oder eine Radlast
zu bestimmen.
- 20 2. Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Messeinrichtung (1)
Beschleunigungssensoren (31, 32, 33) zur Messung der Linear-
beschleunigungen und Drehratensensoren (41, 42, 43) zur Mes-
sung der drei Drehraten aufweist und wobei die Beschleuni-
gungssensoren (31, 32, 33) und die Drehratensensoren (41, 42,
25 43) Teile einer vorgefertigten, zum Einbau in das Radfahrzeug
(20) ausgestalteten gerätetechnischen Einheit (2) sind.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Messeinrich-
tung (1) derart ausgestaltet ist, dass die zumindest zwei Li-
nearbeschleunigungen als linear voneinander unabhängige Mess-
30 größen messbar sind.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die
Messeinrichtung (1) derart ausgestaltet ist, dass die drei
35 Koordinatenachsen jeweils paarweise senkrecht zueinander ver-
laufen.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei Messsensoren der Messeinrichtung (1) zur Messung der Drehraten und der Linearbeschleunigungen an einem relativ zu einem Fahrzeug-Fahrwerk (29) beweglichen Fahrzeugaufbau (28) befestigt sind.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Auswertungseinrichtung (9) eine Berechnungseinheit (11) aufweist, die ausgestaltet ist, unter Verwendung eines von der Messeinrichtung (1) gemessenen Messwertes für eine quer zu der Ebene eines Fahrzeug-Untergrundes (30) gerichtete Linearbeschleunigung zumindest eine Teil-Achslast und/oder eine Teil-Radlast zu berechnen.

7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Auswertungseinrichtung (9) eine Berechnungseinheit (11) aufweist, die ausgestaltet ist, unter Verwendung der drei Drehraten zumindest eine Teil-Achslast und/oder eine Teil-Radlast zu berechnen, die durch eine Drehbewegung des Radfahrzeuges und/oder durch eine Drehbewegung eines Teils des Radfahrzeuges erzeugt wird.

8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Auswertungseinrichtung (9) eine Berechnungseinheit (11) aufweist, die ausgestaltet ist, unter Berücksichtigung einer, insbesondere gedämpften, Federung (40, 41, 43) zwischen zumindest einem der Räder (21, 22, 23, 24) des Radfahrzeuges (20) und einem Fahrzeugaufbau (28) die Achslast und/oder Radlast zu berechnen.

9. Verfahren zur Bestimmung von dynamischen Achslasten und/oder dynamischen Radlasten eines Radfahrzeuges (20), wobei

- in dem Radfahrzeug (20) zumindest zwei jeweils quer zueinander gerichtete Linearbeschleunigungen des Radfahrzeuges (20) und drei Drehraten, jeweils einer Drehbewegung oder einer Komponente einer Drehbewegung um eine Koordinatenachse

des Radfahrzeuges (20), gemessen werden, wobei die drei Koordinatenachsen jeweils quer zueinander verlaufen, und

- unter Verwendung der zumindest zwei Linearbeschleunigungen und der drei Drehraten zumindest eine Achslast
5 und/oder eine Radlast des Radfahrzeuges (20) bestimmt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Linearbeschleunigungen mit Beschleunigungssensoren (31, 32, 33) und die Drehraten mit Drehratensensoren (41, 42, 43) gemessen werden und
10 wobei die Beschleunigungssensoren (31, 32, 33) und die Drehratensensoren Teile einer vorgefertigten, in dem Radfahrzeug (20) angeordneten gerätetechnischen Einheit (1) sind.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei die zumindest
15 zwei Linearbeschleunigungen als linear voneinander unabhängige Messgrößen gemessen werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei die drei Koordinatenachsen der Drehraten jeweils paarweise senkrecht zueinander verlaufen.
20

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei die Drehraten und die Linearbeschleunigungen als Drehraten und Linearbeschleunigungen eines relativ zu einem Fahrzeug-
25 Fahrwerk (29) beweglichen Fahrzeugaufbaus (28) gemessen werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei unter Verwendung eines in dem Radfahrzeug (20) gemessenen Messwertes für eine quer zu der Ebene eines Fahrzeug-Untergrundes
30 (30) gerichtete Linearbeschleunigung zumindest eine Teil-Achslast und/oder eine Teil-Radlast berechnet wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei unter
35 Verwendung der drei Drehraten zumindest eine Teil-Achslast und/oder eine Teil-Radlast berechnet wird, die durch eine

Drehbewegung des Radfahrzeuges (20) und/oder durch eine Drehbewegung eines Teils des Radfahrzeuges (20) erzeugt wird.

- 5 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 15, wobei unter Berücksichtigung einer, insbesondere gedämpften, Federung (40, 41, 43) zwischen zumindest einem der Räder (21, 22, 23, 24) des Radfahrzeuges (20) und einem Fahrzeugaufbau (28) die Achslast und/oder Radlast berechnet wird.
- 10 17. Verfahren zur Vorhersage einer Fahrsituation, wobei unter Verwendung zumindest zweier gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16 berechneten Achslasten und/oder Radlasten vorausberechnet wird, ob ein Rad (21, 22, 23, 24) des Radfahrzeuges (20) oder mehrere Räder (21, 22, 23, 24)
- 15 des Radfahrzeuges (20) einen Kontakt mit einem Untergrund (30) verlieren wird/werden.

FIG 1

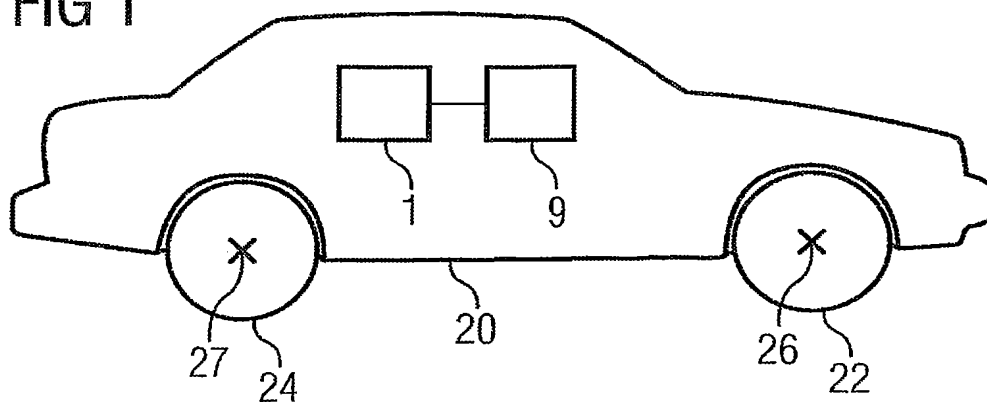


FIG 2

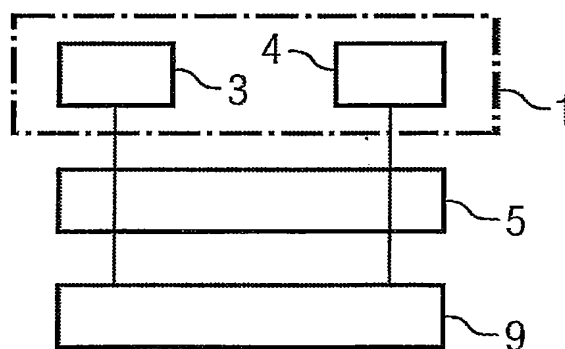


FIG 3

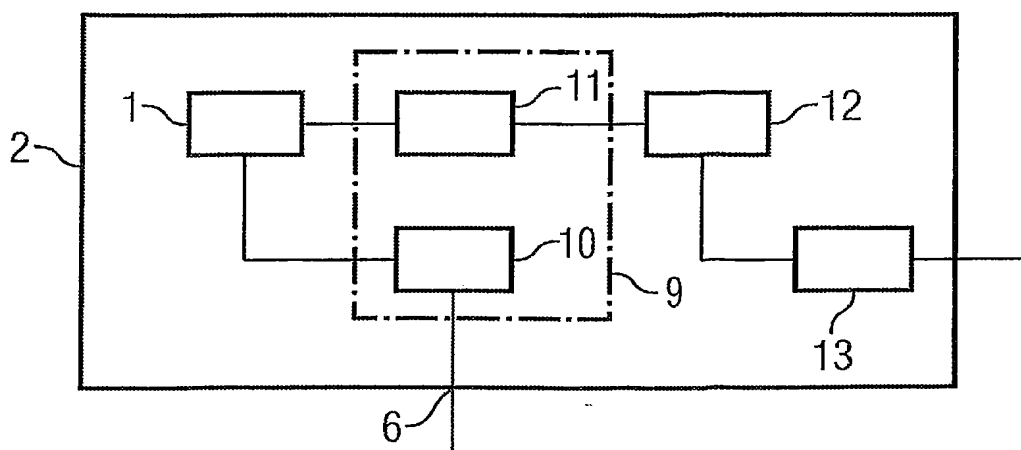


FIG 4

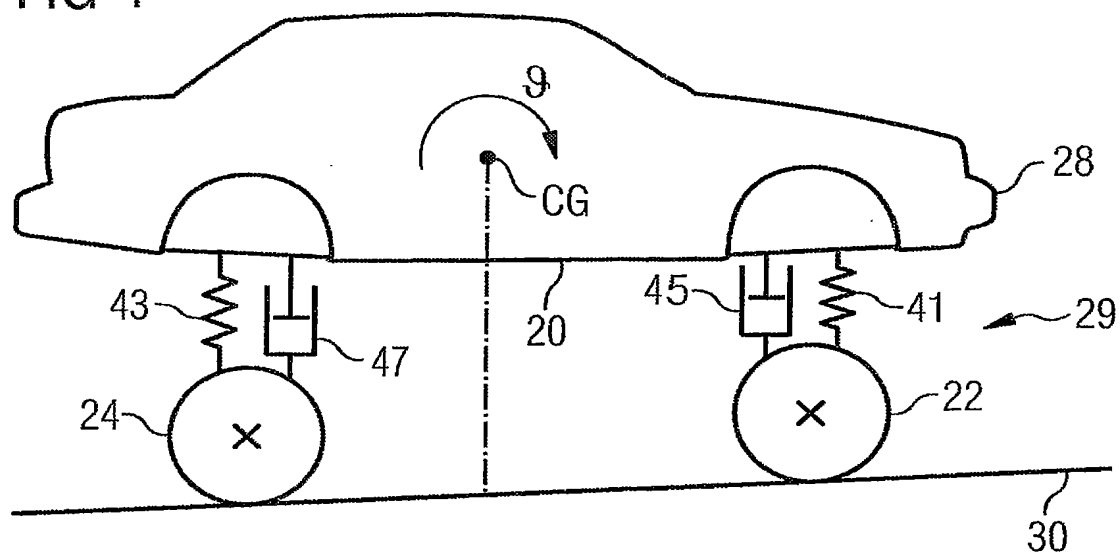


FIG 5

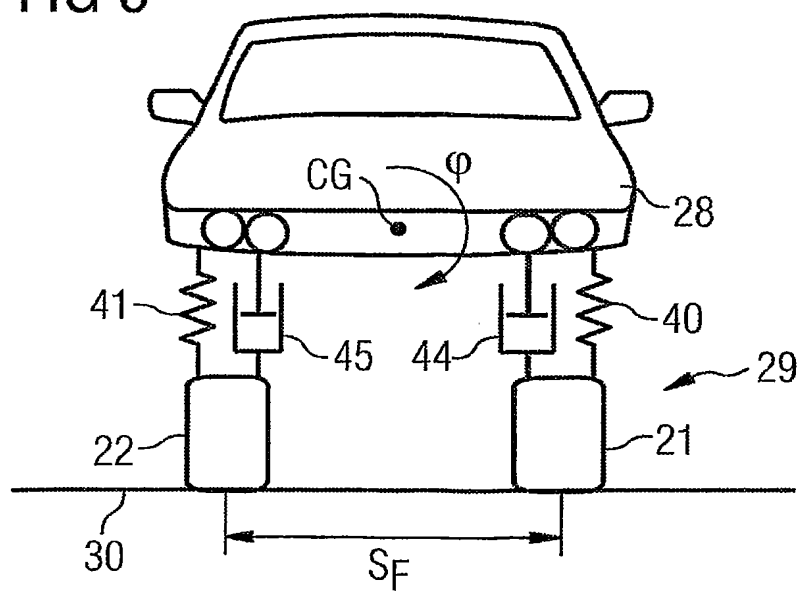


FIG 6

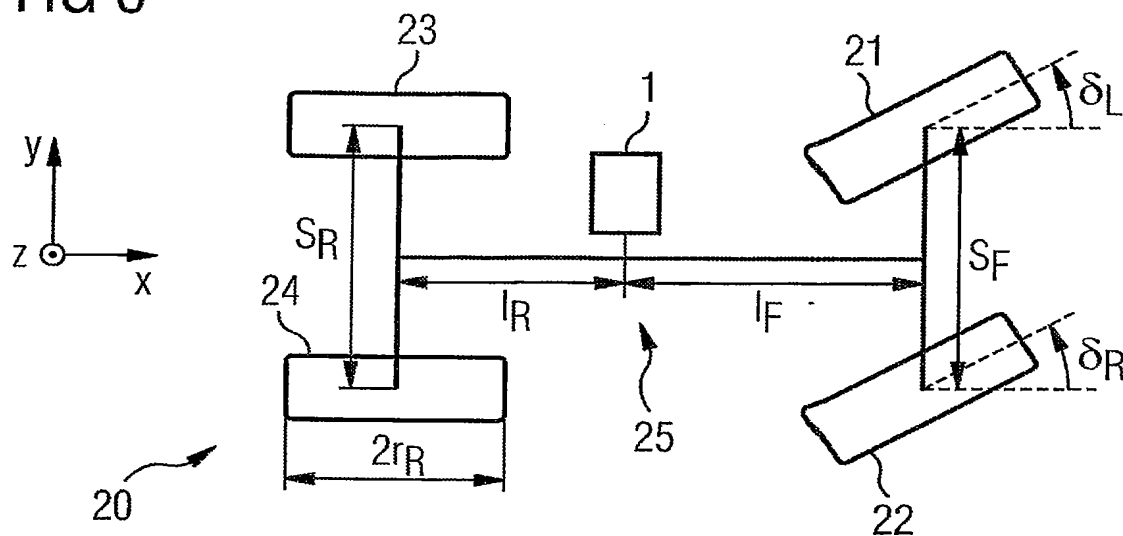


FIG 7

